

An innovative window with an invisible frame: from the applied research to the industrial production

Tiziana Alderucci, Vanessa Terlizzi*, Placido Munafò

Highlights

The research outputs of the “Full Glass” window with an invisible frame. The phases of the process: project design, patenting, analysis of the production cost, certification, industrialization and placing on the market. The “simplification of the technologies” as guiding principle. Components with a limited number of pieces, with high performances and easy to assemble.

Abstract

The results of the “Full Glass” window idea, patent and industrialization process is presented in order to commercialize it on the market. The “Full Glass” is an innovative window with an invisible frame. The aim of this work is to explain the process phases: design and optimization of the components, production costs evaluation, and construction feasibility verifying the applicability of the “technologies simplification” principle. The latter means the possibility to realize components with high performance by using a limited number of pieces than traditional ones available on the market.

Keywords

Industrialization process, Full glass, Applied research, Technologies simplification, Environmental sustainability

1. INTRODUCTION

In this paper, the results of the “Full Glass” window engineering process, starting from the patenting idea to the manufacturing process, is presented. The aim is the commercialization of a window with an invisible frame, both on the national and international markets. This window has an innovative design and, contemporary, a high insulation performance. These properties arise from the use of the frame with reduced section, which could be made whether of aluminium or GFRP (Glass Fibre Reinforced Polymer) profiles. This latter is a composite material with high mechanical and thermal properties, useful even for energy saving. “Full glass” window is applicable both in new constructions and in restorations. Moreover, this frame causes a lower environmental impact than traditional ones because, being realized with a limited number of components, it involves lower energy consumption in the

Tiziana Alderucci

DICEA - Dipartimento di
Ingegneria, Edile e Architettura,
Università Politecnica delle
Marche, via Breccie Bianche 12,
Ancona, 60131, Italia

Vanessa Terlizzi

DICEA - Dipartimento di
Ingegneria, Edile e Architettura,
Università Politecnica delle
Marche, via Breccie Bianche 12,
Ancona, 60131, Italia

Placido Munafò

DICEA - Dipartimento di
Ingegneria, Edile e Architettura,
Università Politecnica delle
Marche, via Breccie Bianche 12,
Ancona, 60131, Italia

* Corresponding author
Tel.: +39-071-2204580;
e-mail: v.terlizzi@pm.univpm.it

2.2. DATABASE RESEARCH

Before the filing of the patent, a database research was carried out with the aid of the ILO office of the Università Politecnica delle Marche. This phase was useful to verify similar patents to the “Full glass”, in shape, materials, and constructional arrangement.

In addition, a market research on the commercial windows was carried out; in Table 1, an overview of the main potential competitive products (and related main features) of the “Full glass” window is shown. It is clear that the only patent that has a minimum frame size placed inside the double glass cavity is the “Full glass” window.

I telai fissi e mobili dei serramenti tradizionali presentano un ingombro non indifferente, fattore negativo sul piano estetico e per quanto riguarda le prestazioni energetiche del serramento stesso il numero di componenti non irrilevante, specie per quelli in alluminio a taglio termico, incidono sulle prestazioni termiche del prodotto e in alcuni casi sulla sua durabilità (telai in PVC) e sul consumo di energia nel processo di produzione. Per poter superare tali inconvenienti, il mercato sta evolvendosi secondo due direttrici: quella del serramento più tradizionale, migliorando le caratteristiche termiche dei telai, che comporta però un maggiore ingombro; quella dei serramenti “minimal” realizzati sempre con telai a vista dalle dimensioni molto contenute anche “giocando” a discapito delle loro prestazioni come la tenuta all'aria e all'acqua e con prezzi di mercato molto più alti di quelli tradizionali. In tale contesto si inserisce la finestra

| Manufacturer | CIC | UNIFORM | PIAVEVETRO | TIP TOP FENSTER | OTTIMA | KELLER AG |
|--|------------|--------------|-------------------------|-----------------|--------|-----------|
| Product | Full glass | Zero Uni One | I am Crystal Sculptures | Termo Top | Ottima | Minimal |
| Minimal Design | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Thin frame (≤30mm) | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Frame inserted in the doubleglass cavity | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Single GFRP profile | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Lightness | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| High thermal performance | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Easy inmaintenance | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Applicable on existing frames | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |

Table 1. Comparison of the Full glass window with the main potential competitive products.

Table 1 also presents the “Full glass” system benefits in comparison to the common ones. The “Full glass” window satisfies the needs of high-energy efficiency, better indoor climate, and lighting, low carbon solutions, recyclability, durability, exclusive design, representing a breakthrough in the windows market.

2.3. EXPERIMENTAL AND NUMERICAL PHASE FOR THE IDEA VALIDATION

The aim of the experimental phase was the validation of two different aspects: the first was the bonding conjunction of the glass with the GFRP profile (the “Full glass” constructional arrangement); the second was the durability of the joint, after the exposition to different artificial aging conditions: continuous condensation and UV exposures.

The objective of the numerical phase was the validation of the thermal and mechanical window’s performance. The Full glass window’s transmittance property was analysed and compared with the doubleglass system alone (excluding the frame); furthermore, the shutters deformations were checked by evaluating the glass-GFRP joining system.

“Full glass”, un serramento che presenta diversi vantaggi: eleganza e estrema semplicità nelle linee, elevate prestazioni, costi contenuti, facile realizzazione e composto da un numero ridottissimo di pezzi e tale da consentire alle aziende di produrlo non modificando la propria linea produttiva. Nella Figura 1 viene confrontata la sezione del serramento Full glass con quelle di serramenti tradizionali.

2.2. RICERCA SU BANCA DATI

Prima di procedere al deposito del brevetto si è effettuata una ricerca di anteriorità presso l'ufficio ILO dell'Università Politecnica delle Marche che ha permesso di verificare l'assenza di brevetti aventi caratteristiche uguali o simili all'idea base della “Full glass”, sia per i materiali e geometrie utilizzati, che per principi costruttivi. Inoltre è stata effettuata una ricerca delle soluzioni attualmente disponibili nel mercato dei serramenti: nella Tabella 1 viene presentato un confronto dei principali prodotti competitivi (e le relative caratteristiche) che sono in commercio rispetto alla finestra Full glass. E' possibile quindi riscontrare come l'unico brevetto con un profilo di ingombro minimo e inserito internamente al vetrocamera è quello della Full glass.

Nella Tabella 1 vengono evidenziati i vantaggi di questo sistema rispetto a quello in commercio. La Full glass soddisfa le necessità di una finestra con elevata efficienza energetica, miglior clima interno e illuminamento, soluzione a basso impatto ambientale, riciclabile, durevole, con design esclusivo, che

2.3.1. EXPERIMENTAL AND NUMERICAL METHODS

The materials used for the experimental phase were: GFRP profiles, glass sheets, and three different adhesives. The GFRP profiles are made of alternating layers of unidirectional fibre roving and chopped strand mat embedded in a vinyl ester (as in this case study) or a polyester matrix.

The glass is the tempered type; the sheets were covered with a UV protective film, used to protect the adhesive and to avoid GFRP chromatic variations: this phenomenon, in fact, was demonstrated by previous studies [1-3]. Three different adhesives were selected: two epoxy (A, B) and one polyurethane (C).

“Double-lap” joints were realized according to ASTM D3528 [4], with the objective to analyse the shear stress of the joints. The specimens were loaded up to failure with a speed of 1.27 mm/min.

A total number of twenty-seven samples were carried out, subdivided in three adhesives and in three different climatic conditions: the initial conditions (T0) and two different aging exposures. The first one (Tcc) simulated a continuous condensation environment (100 % H.R.) with a constant temperature (40 °C) according to ISO 6270-2 [5], for six months in a climatic chamber.

The second one (Tuv) simulated a continuous UV radiation (340-400 wavelength with a temperature of 26 °C on the specimens surfaces), according to ASTM D904-99 [6] and ASTM G154-00a [7], for 1000 hours.

Numerical simulations, conducted with the aid of the Therm software, were carried out to assess the window thermal transmittance. In order to compare the thermal value of the GFRP frame alone, against the whole window (GFRP fixed frame + GFRP mobile frame + doubleglass system), the following values were separately calculated:

- The thermal transmittance of the shutter (GFRPmobile frame + doubleglass system);
- The thermal transmittance of the doubleglass system.

The geometry of double glass system was: float glass sheet of 6 mm – cavity filled with argon gas of 32 mm – float glass sheet of 6 mm. Two different doubleglass systems with standard (float glass) and high thermal (Low-E glass) performances were considered.

The analysis of the shutters deformations was carried out through the Midas Gen software. The GFRP mobile frame and the shutter (GFRP mobile frame + doubleglass system) were shaped with beam elements. Furthermore, in the model, both the wind load and the concentrated force simulating the shutter opening (the load on the handle) were applied.

rappresenta una svolta nel mercato delle finestre.

2.3. FASE SPERIMENTALE E DI SIMULAZIONE NUMERICA DI VALIDAZIONE DELL'IDEA

La fase sperimentale ha riguardato la validazione di due aspetti: il primo avente come oggetto il principio costruttivo sul quale si basa la Full glass, ossia l'unione tramite incollaggio tra il profilo in pultruso ed il vetro; il secondo inerente la durabilità ovvero il mantenimento nel tempo delle prestazioni meccaniche della suddetta giunzione sottoponendola a diverse condizioni di invecchiamento accelerato: umidità relativa, temperatura e UV. In parallelo si è svolta e messa a punto la fase di simulazione numerica che ha riguardato la valutazione delle prestazioni termiche e meccaniche del serramento nel suo complesso come elemento costruttivo completo. Si è analizzata la trasmittanza del serramento in pultruso, valutandolo anche separatamente quello del vetrocamera, e si è svolta la verifica delle deformazioni delle ante, determinando l'efficacia del sistema di unione pultruso-vetro.

2.3.1. METODI SPERIMENTALI E NUMERICI

I materiali utilizzati per la sperimentazione sono i profili in pultruso, lastre di vetro e tre differenti adesivi.

I profili in pultruso sono materiali compositi costituiti da strati sovrapposti alternati di fibre unidirezionali (roving) e di fibre tagliate (mat), inglobati in una matrice a resina vinilestere (come i provini utilizzati nella presente sperimentazione) o in poliestere. Il tipo di vetro utilizzato è quello temperato con lastre rivestite da un film anti UV, per proteggere l'adesivo e il pultruso anche da possibili variazioni cromatiche, fenomeno noto dalla letteratura scientifica [1-3]. Gli adesivi utilizzati sono tre, due epossidici prodotti da due differenti aziende produttrici (A, B) e uno di tipo poliuretano (C).

I provini sono stati realizzati nella configurazione “double-lap”, secondo le disposizioni date dalla norma ASTM D 3528 [4], al fine di registrare lo sforzo di taglio supportato dal giunto. I campioni, sottoposti ad una sollecitazione di trazione, sono stati portati a rottura ad una velocità di prova settata a 1.27 mm/min. La verifica sperimentale ha previsto l'impiego di ventisette provini, suddivisi in base ai tre adesivi testati, per tre differenti condizioni climatiche: una iniziale di non invecchiamento (T0) e per due modalità di invecchiamento artificiale: la prima (Tcc) simula un ambiente a temperatura e umidità costanti (40 °C, 100 % c.a. secondo normativa ISO 6270-2 [5]), condizioni queste applicate per 6 mesi continuamente utilizzando una camera climatica. La seconda (Tuv), sottopone i provini all'irraggiamento sotto UV (lunghezze d'onda 340-400 nm, temperatura di 26 °C sulla superficie dei provini, secondo le normative ASTM D904-99 [6] and ASTM G154-00a [7]), applicati per 1000 ore continuamente.

L'analisi numerica è stata condotta con l'utilizzo del software Therm per valutare la trasmittanza termica del serramento. Si è proceduto al calcolo della trasmittanza termica dell'intero serramento (telaio fisso + telaio mobile + vetrocamera), dell'anta apribile (telaio mobile + vetrocamera), e del singolo vetrocamera, in modo da poter valutare l'incidenza dei telai in profili di

2.3.2. RESULTS

The experimental results (see Figure 2) showed that between the two epoxy adhesives, the second one (B) demonstrated the best performance in terms of shear resistance, before and after both the aging conditions (Tcc and Tuv). On the contrary, the polyurethane adhesive highlights lower mechanical performance than the epoxy ones.

After the hot-wet exposure, the double lap joints bonded with all the three adhesives registered decay in the mechanical properties, because of the high humidity levels, which usually affects bonded joints [8-10].

After the UV exposure, the epoxy specimens (A e B) showed a shear resistance increase since, as demonstrated by other authors [10,11], the polymerization process was enhanced during the exposition to medium-high temperatures.

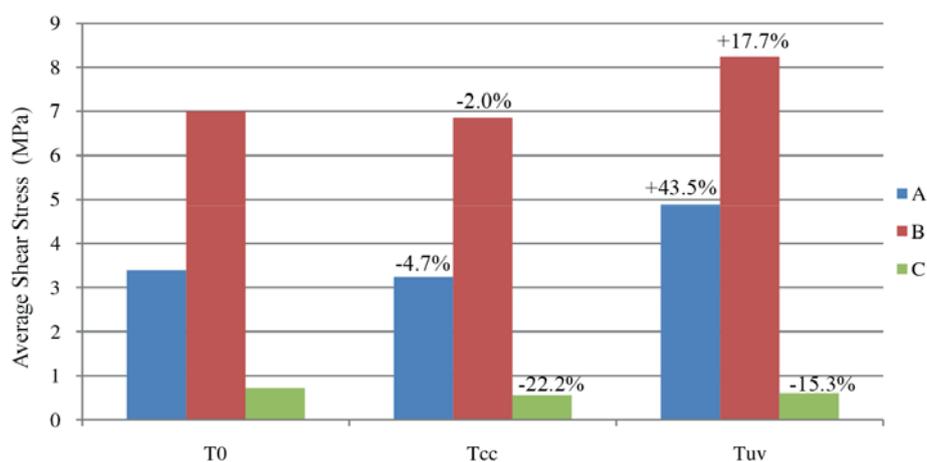


Figure 2. "Double-lap" joints results before and after the aging conditions: without aging (T0), after the hot-wet exposure (Tcc), after the UV irradiation (Tuv).

On the other hand, the results showed that the bonded joints are able to withstand the maximum working stresses to which a window may be subjected, with an adequate coefficient of safety, also after the aging treatments.

The data obtained through the numerical simulations (see Table 2) demonstrated that the thermal transmittance values of the whole window (GFRP fixed frame + GFRP mobile frame + double glass system) and, even more, of the shutter (GFRP mobile frame + double glass system), were similar to the value registered by the doubleglass system alone. This result highlighted that the Full glass window has the least possible thermal transmittance value and, with respect to the aluminium frame with the thermal break ($2.8 \div 3.2 \text{ W/m}^2\text{K}$), it shows better thermal performances.

Furthermore, advantageous results were registered after the calculation of the

pultruso. A tal proposito si è considerato un vetrocamera composto da: vetro da 6 mm – intercapedine con argon 32 mm – vetro da 6 mm e sono state considerate due diverse tipologie di vetrocamera, rispettivamente con prestazioni termiche standard (vetri float) ed elevate (vetri basso emissivi). Per la valutazione delle deformazioni delle ante si è utilizzato il software Midas Gen. In particolare, si è proceduto a modellare con elementi beam il solo telaio mobile in GFRP e l'anta apribile (telaio mobile + vetrocamera) nel quale i profili in GFRP sono collaboranti con le due lastre di vetro. Si sono applicati i carichi del vento nella direzione ortogonale al piano del vetro e un carico concentrato sulla maniglia atto a simulare l'apertura dell'anta.

2.3.2. RISULTATI

I risultati ottenuti dai test sperimentali sono riportati in Figura 2 da dove è possibile rilevare che tra i due adesivi epossidici utilizzati, il secondo adesivo (B) ha le migliori prestazioni di resistenza a taglio, anche dopo invecchiamento (Tcc e Tuv). L'adesivo poliuretano (C)

invece, mostra prestazioni meccaniche più scadenti rispetto ai giunti realizzati con collanti epossidici.

L'invecchiamento accelerato dei provini double lap in camera climatica (Tcc) ha fatto registrare un decremento delle prestazioni degli adesivi, dati questo già noti in letteratura, ovvero che l'umidità è un fattore che incide sulle prestazioni delle giunzioni incollate [8-10]. Esponendo i giunti con adesivi epossidici (A e B) ai raggi ultravioletti (Tuv), si sono registrati valori di resistenza a taglio migliori rispetto ai giunti non invecchiati. Tale comportamento, come dimostrato da alcuni autori [10,11], è dovuto al completamento della fase di polimerizzazione degli adesivi una volta sottoposti a temperature medio-alte.

Dai risultati ottenuti è emerso l'applicabilità di giunzioni incollate con adesivi epossidici per la realizzazione del serramento, essendo queste in grado di sopportare, con un adeguato coefficiente di sicurezza, le sollecitazioni a cui è sottoposto.

I risultati ottenuti dalla simulazione numerica (Tabella 2) mostrano che il valore della trasmittanza termica

shutters deformations and stresses. In fact, the model showed that the shutters deformations were less than a tenth of a millimetre and the shutters stress were less than the maximum stress of breakage of the GFRP profiles (300 Mpa). All these results demonstrated the feasibility of the “Full glass” window.

del serramento (telaio fisso + telaio mobile + vetrocamera), e ancor più quello dell'anta mobile (telaio mobile + vetrocamera), è prossimo a quello del vetrocamera il che sta a significare che si è prossimi a valori minimi possibili per la trasmittanza termica di un serramento. Di conseguenza, rispetto ad un tradizionale infisso in alluminio con

| Double glass system 6/32/6 | Whole window | Shutter | Double glass system |
|--|------------------------|------------------------|-------------------------|
| High thermal performance (Low-E glass) | 2.02W/m ² K | 1.81W/m ² K | 1.75W/m ² K |
| Standard thermal performance (float glass) | 2.86W/m ² K | 2.83W/m ² K | 2.77 W/m ² K |

Table 2. Thermal transmittance values obtained by the numerical simulations.

2.4. PATENTING

In this section, the patenting idea (patent n. MO02013A000317 of 18/11/2013 and international extension PCT/IB2014/066098) is described.

The window is illustrated in an overall view (Figure 3a) and in two design details: the mobile-fixed frames conjunction (Figure 3b) and the shutters closing system (Figure 4). The frame is characterized by a doubleglass system of 32 mm (3,4,5), which includes two glass sheets (3,4), parallel to each other with an air gap (5). In the latter space, the “molecular sieve” is inserted to absorb the moisture. The innovation is the positioning of the mobile frame (8) inside the doubleglass cavity (in the air gap) to create a mobile shutter (11,12). This component is associated with a fixed frame (14), which is almost inserted into the walls. The mobile-fixed frames conjunction is realized through the hinge (16), in the case of opening and tilt-turn windows, or through sliding mechanisms.

taglio termico, avente una trasmittanza che oscilla dai 2.8 ai 3.2 W/m²K (fonte METRA), i valori della trasmittanza termica della finestra Full glass sono risultati migliori.

Per quanto riguarda le deformazioni e lo stato di sollecitazione delle ante, la modellazione numerica ha mostrato che le deformazioni sono contenute entro il decimo del millimetro posti a circa ad una freccia di 1/100 mentre le tensioni calcolate risultano essere inferiori alla tensione massima di rottura (300 Mpa). Tali risultati sperimentali e numerici, mostrano che la soluzione adottata per la Full glass, che si basa sulla solidarizzazione tramite incollaggio del telaio al vetrocamera, è praticabile ed efficiente.

2.4. IL BREVETTO

Nel presente paragrafo si descrive l'idea brevettuale (brevetto n. MO02013A000317 del 18/11/2013 ed estensione internazionale PCT/IB2014/066098).

Il serramento viene presentato sia con una vista complessiva (Figura 3a) che in due dettagli costruttivi: il collegamento dell'anta mobile al telaio fisso mediante cerniera (Figura 3b) e la chiusura in battuta delle ante mobili (Figura 4). Il serramento comprende un vetrocamera

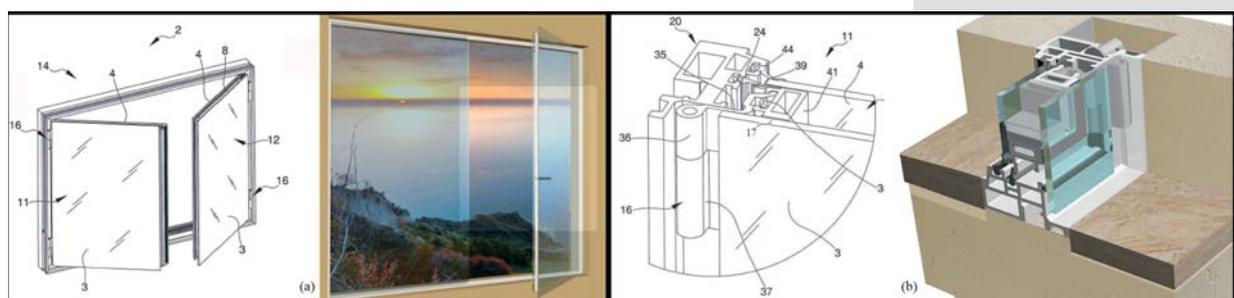


Figure 3. Overall view window: drawing with numbered parts and rendering (a); mobile-fixed frames conjunction: drawing with numbered parts and rendering (b).

The mobile frame is inside the double glass perimeter, being almost hidden by the glass. Therefore, the shutter seems to be only made of glass, with a uniform (clean) appearance. However, the mechanical and thermal properties are guaranteed through the double glass-mobile frame connection, realized by a bonding conjunction (17). The fixed frame is realized by some profiles positioned all around the glass sheets.

da 32 mm (3,4,5) che include due lastre (3,4) in vetro, parallele tra loro e separate da un'intercapedine (5), all'interno della quale è inserito il "setaccio molecolare" per assorbire l'umidità. L'aspetto importante dell'invenzione è basato sull'alloggiamento del telaio mobile (8) all'interno del vetrocamera (intercapedine), a definire un'anta mobile (11,12), associata ad un telaio fisso (14) che è destinato ad essere almeno in parte incassato nella parete (sino all'altezza della cerniera).

In addition, some gaskets sealing are included (24,27,39,44,67) to obtain an air sealing closure “opened”.

The fixed frame could be coupled with an existing one in order to substitute it, avoiding the entire removal of the pre-existing window.

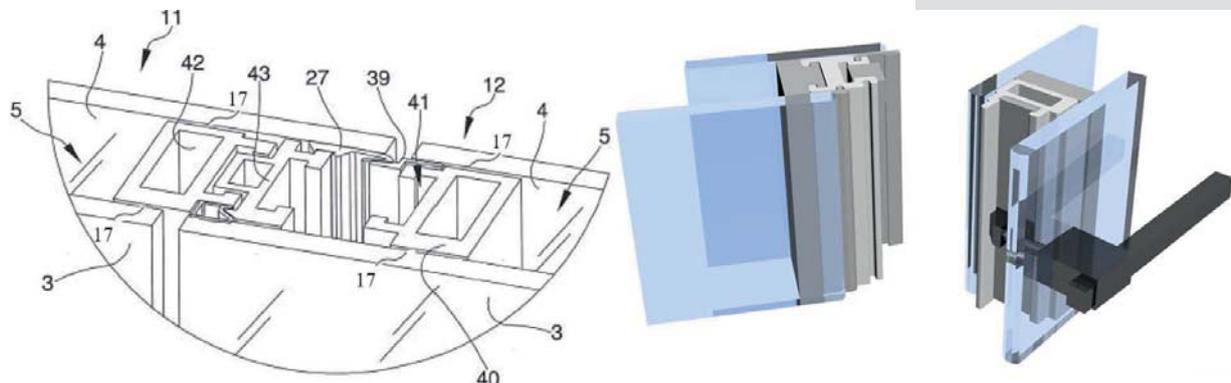


Figure 4. Shutter closing system: drawing with numbered parts and rendering.

2.5. DESIGN AND OPTIMIZATION OF THE COMPONENTS

After the filing of the patent, the engineering and optimization of the components (profiles and gaskets) were carried out. These phases were necessary to verify and to define the assembly and the geometries of the components, in connection with the industrial production process. Moreover, the experimental tests highlighted the need to limit the deformation of the bonded joints, also considering the effects of the aging conditions. Firstly, a 3D model was realized with the aid of AutoCAD software. Later, the prototype of the mobile-fixed frames conjunction was done, through a 3d printing technique. This model was useful to modify the previous technical drawings and to enhance the thermal performance of the system. Subsequently, the design phase of the profiles was performed, according to the industrialization production process, and it was developed in cooperation with manufacturers. The pultrusion process takes place using steel dies (the tools) which mould the GFRP profiles. In this phase, some design rules are necessary for the proper production, such us: curve radii, tolerances, gaps, minimum thicknesses, resin, roving, and mat.

Moreover, the additives addition to the matrix resin and the protection film positioned on the profiles surfaces have to be considered.

In order to limit the deformation of the adhesive subjected to the loads, small metal elements omega-shaped of 1 mm thickness, defined as “clip”, were considered. They were inserted on the GFRP profile every 50 cm (see Figure 5).

L'associazione tra telaio fisso e telaio mobile può essere realizzata o tramite cerniera (16) nel caso di anta battente o anta ribalta, o tramite pattini, nel caso di anta scorrevole. Il telaio mobile è quindi interno al perimetro del vetrocamera e, pertanto, sostanzialmente nascosto, a definire un'anta che appare individuata dalle

sole lastre di vetro, apportandogli un aspetto uniforme e “pulito”, sebbene abbia le caratteristiche strutturali e termiche conferite dall'accoppiamento di vetrocamera e telaio mobile. Quest'ultimo è fissato alle lastre della vetrocamera tramite un collante (17).

Il telaio fisso può essere realizzato da più profilati disposti in corrispondenza dei lati della finestra, anch'essi chiusi ad anello, ad incorniciare la finestra stessa. A completamento del serramento vengono introdotte delle guarnizioni di tenuta (24,27,39,44,67), a definire un cosiddetto giunto di tenuta all'aria “aperto”. Una variante del serramento prevede l'accoppiamento del telaio fisso con un ulteriore telaio fisso presente in opera. Tale versione è escogitata per la sostituzione di un serramento precedente evitando la necessità di eseguire opere onerose, come ad esempio la rimozione del controltelaio dal muro.

2.5. PROGETTAZIONE DEI COMPONENTI E OTTIMIZZAZIONE DEL SISTEMA COSTRUTTIVO

Dopo il deposito del brevetto, si è proceduto alla ingegnerizzazione del serramento e all'ottimizzazione dei singoli componenti (profili e guarnizioni). Tale processo è conseguente sia alla necessità di verificare e definire l'assemblaggio delle diverse parti, che alla definizione della geometria dei profili (dell'anta mobile e del telaio fisso) in relazione al processo industriale di pultrusione. Inoltre, analizzando i risultati sperimentali, è emersa la necessità di contenere le possibili deformazioni delle giunzioni incollate di vetro e profili in pultruso (il principio base del serramento Full glass) e successivamente all'esposizione ad agenti atmosferici come umidità, calore e raggi ultravioletti. Come punto di partenza, si è realizzato un modello 3d mediante software di progettazione e disegno (Autocad) per verificare l'assemblaggio dei diversi componenti del serramento e si è proceduto alla realizzazione di un primo prototipo mediante stampa 3d del nodo di collegamento dell'anta

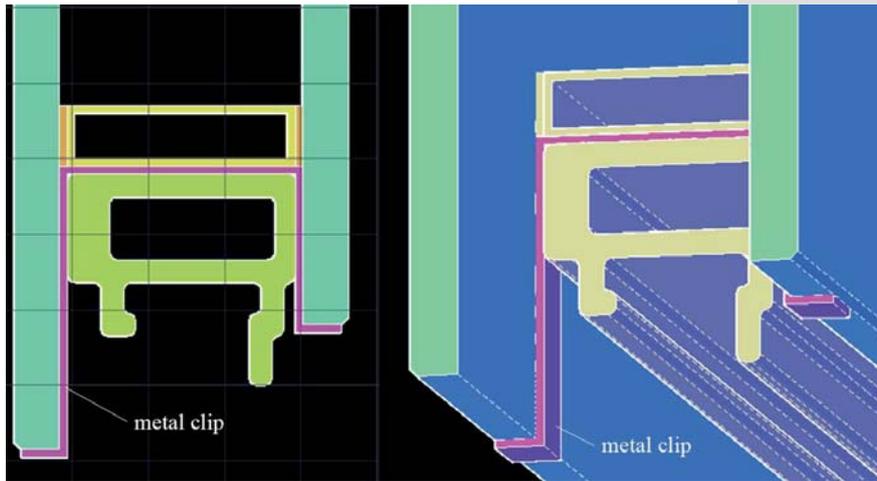


Figure 5. The introduction of the omega clip on the GFRP profile.

At the end of engineering phase, the prototype realization in a real scale was defined, with the objective to certify the “Full glass” window. This process also allows the series production of the components and the construction element, maintaining a standard quality.

2.6. THE ASSEMBLY PHASES

The first phase of the Full glass assembly is the shutters construction, where the GFRP profiles are inserted in the doubleglass cavity (see Figure 6).

The first process regards the doubleglass realization: the two glass sheets are assembled through butyl, interposing the “molecular sieve”. Subsequently PVC special spacers, in order to facilitate the proper location of the shutter profiles, are placed (1).

mobile al telaio fisso per effettuare una prima revisione dei disegni tecnici presentati per il deposito del brevetto. Il passaggio successivo ha riguardato la progettazione dei profili in pultruso sulla base del processo industriale di produzione (pultrusione). Tale studio è avvenuto mediante la collaborazione con ditte produttrici di materiali compositi, che hanno permesso di verificare i disegni dei profili, apportando le necessarie modifiche. Il processo di pultrusione, infatti, avviene mediante l'utilizzo di stampi in acciaio, definiti "matrici", che sono di fatto il negativo dei profili da produrre. In relazione a tale aspetto, è stato necessario osservare alcune regole di progettazione (raggi di curvatura, tolleranze, creazioni di vuoti e spessori minimi dei profili), utili a consentirne la corretta produzione. Un aspetto non secondario è stato quello di valutare l'aggiunta di additivi per la realizzazione di profili e applicazioni di film adesivi nelle parti a vista del profilo. Al fine di contenere le deformazioni dell'adesivo sotto carico ed evitare lo scorrimento del vetro rispetto al telaio in pultruso (dovuto al basso

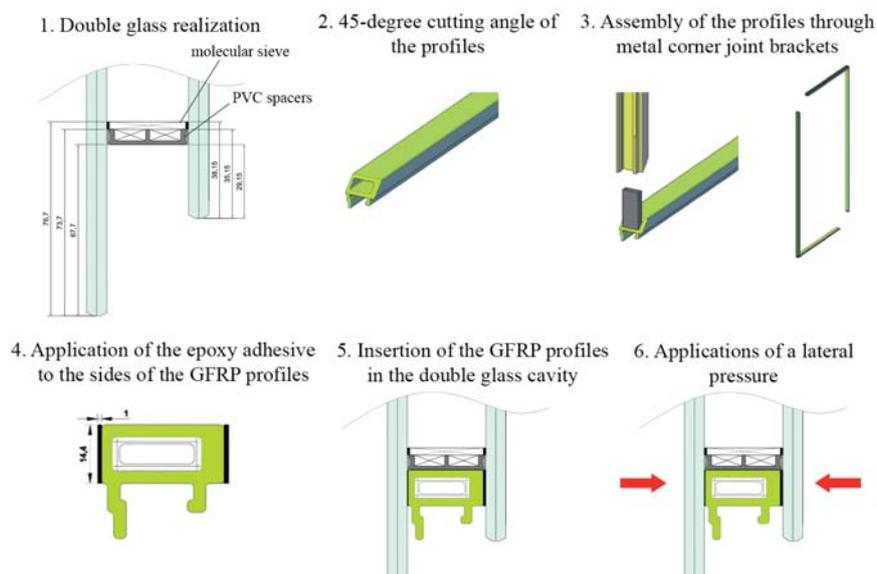


Figure 6. The assembly phases of the Full glass shutter.

The GFRP profiles are cut with an inclination of 45° (2) and assembled through metal corner joint brackets (3). Later the epoxy adhesive is applied to the sides of the GFRP profiles (4); then, these latter are inserted in the doubleglass cavity (5).

Finally, to obtain a proper assembly of the components, a lateral pressure on the doubleglass system is imposed (6). This assembly system was studied in order not to alter the standard production cycle of the doubleglass. The next steps, where the shutters are connected to the fixed frame, take place in the construction sites, as well as for traditional windows.

2.7. REFERENCE MARKET ANALYSIS

Despite the crisis of the Italian construction market, the metallic frames trade have reached, in 2014, a value of € 1.397 million, as stated by the UNICMI. Furthermore, the “Full glass” window falls within both the new construction market and the restoration one, and the latter has the 71.9 % of the total investment in the constructions sector.

A Ceresana the report estimates that the Europe market of energy efficient windows produced will growth up to 50 million per year by 2020, furthered by strong growth in the emerging markets (South America, India, China, and Africa).

The trend is strengthened by the constant interest for new technologies and advanced products in the Middle East, and Russia, striving for energetic efficiency solutions. The above-described trends and data demonstrate that FULL-GLASS is perfectly in line with Nations requirements in terms of sustainability aspects and the market of energy efficient windows will raise in the next future.

2.8. PRODUCTION COSTS EVALUATION

To commercialize the “Full glass” window, the analysis of its production costs was carried out. In this phase, the components costs were then evaluated: the GFRP profiles, the adhesives, the double glass, the movement mechanisms and the gaskets.

In particular, for the GFRP profiles costs were evaluated in collaboration with manufacturers. All the production steps were considered from the design and realization of the steel dies to the production of the profiles. For an accurate costs evaluation, the optimal composition of the materials (resin, roving percentage, and mat position) and the specific geometries were also taken into account.

modulo elastico degli adesivi), si è provveduto all'inserimento puntuale (ogni 50 cm) di profili metallici detti “clip” ad omega di spessore 1mm sopra il profilo in pultruso presente nella parte inferiore dell'anta mobile (vedi Figura 5).

Alla fine della fase di ingegnerizzazione è stato possibile definire il processo di produzione e di assemblaggio dei componenti per la costruzione del prototipo in scala reale e poi essere certificato. Il processo è finalizzato alla produzione in serie dei vari componenti e dell'elemento costruttivo completo, mantenendo tuttavia uno standard qualitativo e poter avviare le procedure di marchiature CE.

2.6. Fasi di montaggio

Il ciclo di montaggio della Full glass prevede in una prima fase la realizzazione dell'anta mobile, inserendo i profili in pultruso all'interno del vetrocamera (vedi Figura 6).

La prima lavorazione è dedicata alla realizzazione del vetrocamera stesso: nella vetreria le lastre di vetro, delle dimensioni prefissate, vengono assemblate tramite l'utilizzo di setaccio molecolare e butile.

Successivamente vengono applicati, tramite incollaggio poliuretano o epossidico, dei profili speciali in PVC che garantiscono e agevolano, in fase di montaggio, il posizionamento corretto dei profili dell'anta mobile (1). I profili in pultruso vengono tagliati a 45° delle lunghezze prestabilite (2) ed assemblati tramite l'utilizzo di squadrette metalliche (3), che consentono anche la regolazione delle tolleranze. Successivamente viene applicato l'adesivo epossidico alle due facce laterali dei profili dell'anta mobile (4) ed il telaio viene in seguito inserito all'interno del vetrocamera (5). Infine, tramite l'utilizzo di ventose, viene applicata una pressione laterale al fine del corretto assemblaggio dei componenti (6). Questa operazione, pur differenziandosi dalle fasi di assemblaggio delle ante mobili dei serramenti tradizionali, si inserisce nel ciclo di produzione del vetrocamera, senza alterarlo, richiedendo solamente un'operazione aggiuntiva, quella dell'inserimento del telaio mobile nel vetrocamera stesso.

Le fasi successive, quelle di collegamento del telaio mobile al telaio fisso e di inserimento di quest'ultimo al contro telaio in acciaio, avvengono in cantiere e senza differenza alcuna rispetto ai serramenti tradizionali.

2.7. Analisi del mercato di riferimento

Nonostante il mercato italiano delle costruzioni stia registrando una forte crisi, secondo i dati registrati dall'UNICMI, nel 2014 il mercato dei serramenti metallici e dei prodotti complementari ha raggiunto un valore di 1.397 milioni di euro. Oltre ad interessare il mercato delle nuove costruzioni, il prodotto Full-Glass si inserisce anche in quello del recupero e/o restauro, quest'ultimo costituente il 71.9 % del totale degli investimenti nel settore delle costruzioni.

Il report di Ceresana (<http://www.ceresana.com/en/market-studies/industry/windows-and-doors-europe/>) stima che il mercato europeo delle finestre energeticamente efficienti crescerà fino a 50 milioni per anno dal 2020, aumentato anche dalla forte crescita dei mercati emergenti (sud America, Cina, Africa). L'andamento è rafforzato dal costante interesse per le nuove tecnologie e prodotti avanzati nel Medio Est, Russia, che si adoperano per soluzioni energeticamente efficienti. I dati sopradescritti dimostrano che il sistema Full glass è perfettamente in linea con le richieste delle nazioni in

This phase allowed the comparison of the “Full glass” window costs with the traditional aluminium ones: the production cost is lower than the other frames of about 15÷20 % (see Table 3).

termini di sostenibilità ed il mercato delle finestre energeticamente efficienti crescerà nel futuro prossimo.

2.8. VALUTAZIONE DEI COSTI DI PRODUZIONE

| FULL GLASS window GFRP frame, two shutters | | | | SCHUCO window Aluminium with thermal break frame, two shutters | | |
|---|----------------|---------------------------------|--|---|---------------------------------|--|
| Rough frame+ counter frame+ assembly | Complete frame | Window + laminated double glass | Window + laminated double glass+film+gas | Rough frame+ counterframe+ assembly | Window + laminated double glass | Window + laminated double glass+film+gas |
| 206,00 | 243,00 | 353,00 | 511,00 | 270,00 | 417,00 | 573,00 |

Table 3. Comparison of the Full glass and Shuco windows costs.

2.9. COMMERCIALIZATION

The process described above allowed defining the prototype realization, in order to obtain the CE certification (air and water permeability, wind resistance) and thermal transmittance values.

With regard to the commercialization step, the protection form of the industrial property rights is evaluating with the aid of electronic. The objectives are the suppression of the falsification, the control of sales and the management of the warehouse, in order to have a proper understanding of the current situation.

Ai fini della commercializzazione del serramento “Full glass”, si è proceduto ad un’analisi dei costi di produzione. Ovviamente si è individuato il costo dei componenti (profili in pultruso, colle, vetrocamera, serramentistica e guarnizioni) costituenti il serramento in relazione al sistema produttivo. In particolare per quanto riguarda il costo dei profili in pultruso, esso è stato valutato con le ditte che eseguono la pultrusione ed ha riguardato tutte le fasi costituenti l’intero processo, a partire dalla progettazione e realizzazione delle matrici in acciaio, fino ad arrivare alla produzione in serie dei profili. Per valutare correttamente tali costi di produzione si è tenuto anche conto della composizione ottimale dei materiali (tipo di resina, percentuale di roving e posizionamento del mat) e della particolare geometria dei profili caratterizzanti il serramento che non sono attualmente presenti nel mercato. Al termine della fase di valutazione dei costi di produzione è stato possibile confrontare il costo del serramento “Full glass” con uno tradizionale in alluminio con taglio termico, da cui emerge un costo di produzione inferiore e stimabile intorno a circa il 15÷20 % (Tabella 3).

3. CONCLUSIONS

The main results are the following:

1. the performance verifications resulting from the adopted construction choices;
2. the construction feasibility;
3. the verification of the market for the window commercialization.

The following statements were founded:

- the experimental results showed the feasibility of the “Full glass” constructional arrangement: the bonding system between the glass and the GFRP profiles. In particular, the adhesive with the best performance in terms of shear resistance, also after the aging conditions, was identified;
- the numerical results showed that the “Full glass” window has a thermal transmittance similar to the doubleglass system; furthermore, this value is lower than the aluminium frames available on the market, considering the same double glass;
- the numerical study of the shutters deformations and stresses showed both the effective cooperation between GFRP frames and the glass and the compatibility with the material used;
- the Full glass assembly process was designed in order not to alter the

2.9. COMMERCIALIZAZIONE

Il processo fin qui descritto ha previsto la realizzazione di prototipi per ottenere le necessarie certificazioni (di tenuta all’aria, all’acqua e alle azioni del vento), nonché quella relativa alla trasmittanza termica e per la marcatura CE. Per quanto attiene la commercializzazione, è in fase di valutazione preliminare la modalità di tutela della proprietà industriale anche tramite etichettatura elettronica, secondo due diverse funzionalità: il riconoscimento del prodotto originale con conseguente eliminazione della contraffazione; il controllo della vendita su territorio e gestione del magazzino, in modo tale da ottenere un andamento chiaro della situazione.

3. CONCLUSIONI

- Gli obiettivi raggiunti sono stati:*
1. la verifica delle prestazioni conseguenti alle scelte costruttive adottate;
 2. la fattibilità costruttiva;
 3. la verifica della possibilità di immettere nel mercato il prodotto.
- Infatti:*
- nella sperimentazione i risultati mostrano la validità del principio costruttivo su cui si fonda la “Full glass”, ossia il sistema di incollaggio tra il profilo in pultruso

standard production cycle of the double glass, with only an extra operation: the inserting of the GFRP profiles in the double glass cavity;

- in the evaluation of the production costs, the “Full glass” window is competitive with traditional ones, even maintaining higher design and thermal performances; furthermore, the production cost is lower than the other frames of about 15%.

The prototype and certification phases are currently being adopted, in order to launch the commercialization step.

4. REFERENCES

- [1] Cabral-Fonseca S, Correia J. R, Rodrigues M. P, Branco F. A. *Artificial accelerated aging of GFRP pultruded profiles made of polyester and vinyl ester resins: characterization of physical-chemical and mechanical damage*. Strain 2012; (48):162–173.
- [2] Correia J. R, Cabral-Fonseca S, Branco F. A, Ferreira J. G, Eusebio M. I, Rodrigues M. P. *Durability of glass fibre reinforced polyester (GFRP) pultruded profiles used in civil engineering applications*. Mechanics of Composite Materials 2006; (42): 325-338.
- [3] Sousa J. M, Correia J. R, Cabral-Fonseca S. *Durability of glass fibre reinforced polymer pultruded profiles: comparison between QUV accelerated exposure and natural weathering in a Mediterranean climate*. Experimental Techniques. 2016; (40): 207-219.
- [4] ASTM D 3528-96(2016). Standard Test Method for Strength Properties of Double Lap Shear Adhesive Joints by Tension Loading.
- [5] ISO 6270-2:2005 Paints and varnishes -- Determination of resistance to humidity -- Part 2: Procedure for exposing test specimens in condensation-water atmospheres.
- [6] ASTM D904-99 Standard Practice for Exposure of Adhesive Specimens to Artificial Light.
- [7] ASTM G154-00a Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of nonmetallic Materials.
- [8] Zhang Y, Vassilopoulos AP, Keller T. *Environmental effects on fatigue behavior of adhesively-bonded pultruded structural joints*. Composite Science Technologies. 2009; (69):1022–8.
- [9] Zhang Y, Vassilopoulos AP, Keller T. *Effect of low and high temperatures on tensile behavior of adhesively-bonded GFRP joints*. Composite Structures. 2010; (92):1631–9.
- [10] Stazi F, Giampaoli M., Rossi M., Munafo P. *Environmental ageing on GFRP pultruded joints: Comparison between different adhesives*. Composite Structures. 2015; (133): 404–414.
- [11] Nguyen T.C., Bai Y., Zhao X.L., Al-Mahaidi R. *Effects of ultraviolet radiation and associated elevated temperature on mechanical performance of steel/CFRP double strap joints*. Composite Structures. 2012; (94): 3563–73.
- [12] ASTM D5573–99 Standard practice for classifying failure modes in fibre reinforced-plastic (FRP) joint.

e il vetro. In particolare, tra gli adesivi testati, è stato possibile individuare quello con migliori prestazioni in termini di resistenza a taglio anche dopo esposizione a condizioni di invecchiamento accelerato;

- con la fase di simulazione numerica, il modello adottato mostra valori di trasmittanza termica per il serramento con profili in pultruso prossimi a quelli del vetrocamera e inferiori a quelli di un serramento in alluminio con taglio termico (con lo stesso tipo di vetrocamera);
- la verifica delle deformazioni e dello stato di sollecitazione dimostrano l'effettiva collaborazione tra telaio in GFRP e vetrocamera convalidando valori della freccia assolutamente compatibili con la funzionalità delle aperture e con uno stato tensionale delle giunzioni e dei profili compatibili con i materiali adottati;
- risultati più che soddisfacenti sono stati raggiunti nella individuazione delle modalità e fasi di montaggio dell'anta mobile inserita nel ciclo di lavorazione del vetrocamera, senza alterare il processo produttivo standard, richiedendo solamente l'operazione aggiuntiva dell'inserimento del telaio mobile nel vetrocamera stesso;
- dalla valutazione dei costi, si è riscontrato come rispetto ai serramenti disponibili nel mercato, la finestra “Full glass” risulta essere concorrenziale registrando un costo di produzione inferiore di circa il 15% con una qualità di design e prestazioni maggiori.

Attualmente è in corso la fase di prototipazione e certificazione, step necessari per consentire la commercializzazione del prodotto.